

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-075463

(43)Date of publication of application : 23.03.2001

(51)Int.Cl.

G03H 1/04

G03H 1/16

H04N 5/89

(21)Application number : 11-246893

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 01.09.1999

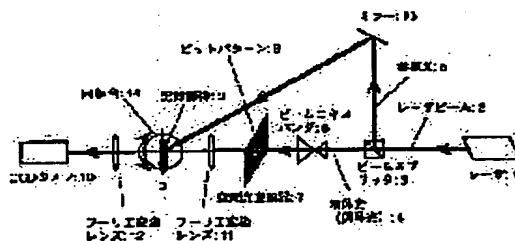
(72)Inventor : KUME TATSUYA

(54) TWO-DIMENSIONAL ENCODING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce medium saturation generated by the increase and continuation of on bits and to improve the recording density, storage capacity and data transfer speed of a device by selecting m (m is an integer) so as to make the number of the on bits in a unit block take a specified maximum value for the value of m -th power of 2 at the time of recording the binary information of m bits in a unit code block.

SOLUTION: At the time of defining $n \times n$ bits (n is the integer ≥ 3) as the unit block and recording the binary information of the m bits in the unit code block, for the value of m -th power of 2, m is selected so as to make the number of the on bits in the unit block take the maximum value not exceeding the total number of patterns which is the integer of $n-1$. Thus, a bit pattern is darkened and the medium saturation is hardly generated. A digital holographic memory for realizing this encoding method is constituted of a laser 1, a beam splitter 3, a beam expander 6 and a spatial light modulator 7 provided with a bit pattern 8, etc.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3535776

[Date of registration] 19.03.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-75463

(P 2001-75463 A)

(43) 公開日 平成13年3月23日 (2001. 3. 23)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 0 3 H	1/04	G 0 3 H	2K008
	1/16		5C052
H 0 4 N	5/89	H 0 4 N	

審査請求 未請求 請求項の数 2

OL

(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-246893

(22) 出願日 平成11年9月1日 (1999. 9. 1)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 久米 達哉

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100083552

弁理士 秋田 収喜

Fターム (参考) 2K008 AA04 AA08 BB06 CC03 DD02

EE01 FF07 FF17 FF21 HH06

HH18 HH20

5C052 AA05 DD10 EE06

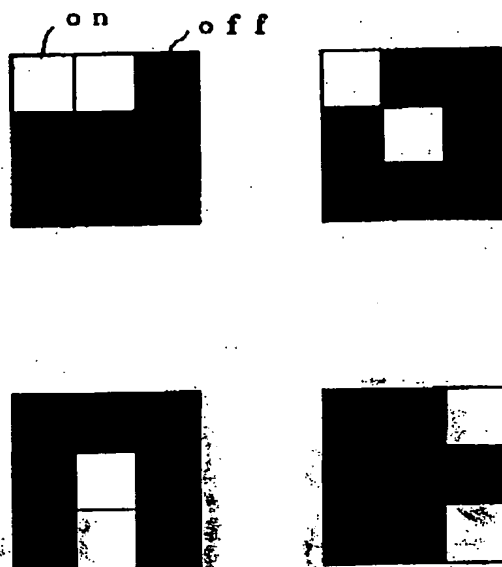
(54) 【発明の名称】 2次元符号化方法

(57) 【要約】

【課題】 on (明) ビットの連続により生じる媒体飽和を軽減し、装置の記録密度と記憶容量及びデータ転送速度を向上する。

【解決手段】 光学的情報記録のための on (明) と off (暗) の2種類の情報ビットが2次元的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット (n は3以上の所定の整数) を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット (m は所定の整数) の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中の on ビット数が $n-1$ なる整数であるパターンの全数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択する2次元符号化方法である。

図 2



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学的情報記録のためのon（明）とoff（暗）の2種類の情報ビットが2次元的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット（ n は4以上の所定の整数）を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット（ m は所定の整数）の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中のonビット数が $n-1$ なる整数であるパターンの全数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択することを特徴とする2次元符号化方法。

【請求項2】 光学的情報記録のためのon（明）とoff（暗）の2種類の情報ビットが2次元的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット（ n は4以上の所定の整数）を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット（ m は所定の整数）の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中のonビット数が $n \leq s \leq n \times n / 4$ なる整数であるパターンの全数から前記単位符号ブロック中の所定の1列または1行にonビットが並ぶパターンの数を差し引いたパターン数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択することを特徴とする2次元符号化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光を用いた情報記憶のための2次元符号化方法に関し、特に、デジタルホログラフィックメモリに用いる2次元符号化方法に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光を用いた情報記憶のための2次元符号化方法は、例えば、デジタルホログラフィックメモリに用いられる。

【0003】デジタルホログラフィックメモリは、on（明）、off（暗）の、2値のデータビットの組み合わせからなる、2次元のビットパターンに変調されたデータを、ホログラフィックに記録、再生する記憶装置である。

【0004】デジタルホログラフィックメモリでは、光源の強度分布や、使用する光学部品、さらに、記録媒体の媒体特性の不均一性等によって、再生像に不均一な光強度分布が発生する。そのため、デジタルホログラフィックメモリでは、これらのために、ビットon/off判別時の誤りが、増加するのを防ぐため、1:2差分符号（J.F. Heanue, M.C. Bashaw, and L. Hesselink, "Volume holographic storage and retrieval of digital data," Science 265, pp. 749-752 (1994) 参照）、または、2:4差分符号（特願平8-9181号；特開平9-197947号公報参照）や、4:8、または、6:8バランス符号（G.W. Burr, J. Ashley, H. Coufal, R. K. G

rygier, J.A. Hoffnagle, C.M. Jefferson, and B. Marcus, "Modulation coding for pixel-matched holographic data storage," Opt. Lett. 22, pp. 639-641 (1997). を参照）で変調されたビットパターンが用いられている。

【0005】一方、デジタルホログラフィックメモリでは、その記録密度と記憶容量を上げるために、体積ホログラムを用いた、多重記録が行われる。

【0006】体積多重ホログラフィでは、記録媒体の回折効率が有限であることにより、各ホログラムページの回折効率が、ホログラムの多重度の2乗に反比例して減少する。その結果、再生像の強度が減少することから、再生像のSN比が劣化する。このことが、デジタルホログラフィックメモリにおける、ホログラムの多重数と記録密度を制限して、装置の記憶容量を決定する要因となる。

【0007】ここで、媒体蝕和が発生すると、記録されるべき情報が欠落するため、再生像のSN比が大きく劣化して、記憶装置として用いることができなくなる。そのため、デジタルホログラフィックメモリでは、多重記録によりホログラムが蝕和しないように、各ホログラムページは弱く記録されている。

【0008】また、その一方で、デジタルホログラフィックメモリにおいて、広く用いられている、フーリエ変換ホログラフィ光学系では、ホログラム記録位置となるフーリエ変換面の周辺において、入力されたビットパターンのフーリエ変換像に、光量の集中が発生すると、媒体蝕和がより発生しやすくなる。そのため、ホログラムの記録位置を、フーリエ変換面から意図的にずらすことで光量の集中を緩和するデフォーカス法が一般的に用いられている。

【0009】一方、平面媒体を用いたホログラフィでは、ランダム位相板で入力パターンを変調することで、記録位置となるフーリエ変換面上における特定の成分の強め合いを抑えるランダム位相板法が用いられている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ホログラム再生像より得られたビットパターンの、on、off判別時の誤りを少なくするには、ホログラム再生像のSN比を改善する必要がある。ここで、多重記録時の媒体蝕和を避けるために、従来のように低回折効率のホログラムを記録した場合、SN比の良い再生像を得るには、ある程度強い参照光をホログラムに照射することで、光強度の大きな再生像を得る必要がある。

【0011】しかし、現在、体積ホログラムの記録媒体として、広く用いられているホトリフラクティブ材料では、ホログラムの再生破壊が発生するため、むやみに強い参照光で、ホログラムを再生することはできない。

【0012】そのため、デジタルホログラフィックメモリでは、再生時に照射される参照光によって、ホログラムが破壊されないように、さらに、再生破壊を抑えら

れるような、弱い参照光を用いた場合であっても、充分なSN比を持つ光強度の大きな再生像が得られるように、ある程度、大きな回折効率を持つホログラムを記録しなければならない。

【0013】このことにより、低回折効率のホログラムを弱く記録することにより、多重記録時の媒体飽和を避ける方法は制約を受け、この問題は記録媒体が高感度である場合、より深刻となる。

【0014】一方、デフォーカスにより、媒体飽和を緩和する方法では、記録位置におけるホログラムサイズが大きくなるために、ホログラム1ページあたりの記録密度が減少して装置の記録容量が減少する。さらに、その一方で、ランダム位相板を用いる方法は、体積ホログラムに対する有効性が未だ不明である。これらのことは、文献：Q.Gao and R.Kostuk, "Cross-talk noise and storage capacity of holographic memories with a LiNbO₃ crystal in the open-circuit condition," Appl. opt. 37, pp. 929-936 (1998) に開示されている。

【0015】このように、ディジタルホログラフィックメモリにおいて、SN比の優れた再生像が得られるようなホログラムを小さな領域に数多く多重記録する技術は、装置の記録密度、記憶容量、データ転送レートなどの基本性能を上げるために、重要な技術であるにも関わらず、未だ、確立されていない。

【0016】一方、ディジタルホログラフィックメモリにおいて、再生像に現れる不均一な光強度分布がビットパターン中のon、off判別に与える影響を緩和するために用いられるバランス符号では、符号化されたパターンの半分がonビットを示す明ビットであるために、ビットパターンが明るくなり、そのパターンを記録したホログラムの回折効率も大きくなるため、媒体飽和が発生し易くなる。さらに、ビットパターン上において、明ビットの連続が起こり易くなるため、ビットパターンの低周波成分が相対的に大きくなり、フーリエ変換ホログラフィ光学系では、フーリエ変換像の低周波成分に光量が集中するために、媒体飽和がさらに発生し易くなる。

【0017】一方、2ビットの情報を、4ビットのパターンで表現する2:4差分符号では、onビットを表す明ビットの数が少なくなることから、1ページのビットパターンを記録するために必要なホログラムの回折効率は低下する。さらに、ビットパターン上においてonを示す明ビットの現れる確率が小さくなるために、明ビットの連続が回避され、パターンのフーリエ変換像における低周波成分の集中が緩和される。

【0018】しかし、2:4差分符号の符号化効率は低く、符号に含まれる正味のデータ領域が制約されるため、装置の記録密度と記憶容量、さらに、データ転送速度が制約されるという問題点があった。

【0019】本発明は、前記問題点を解決するために成されたものであり、on(明)ビットの増加と連続によ

り生じる媒体飽和を軽減し、装置の記録密度と記憶容量及びデータ転送速度を向上することを目的とする。

【0020】本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0021】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

【0022】(1) 光学的情報記録のためのon(明)とoff(暗)の2種類の情報ビットが2次元的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット(n は4以上の所定の整数)を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット(m は所定の整数)の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中のonビット数が $n-1$ なる整数であるパターンの全数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択する2次元符号化方法である。

【0023】(2) 光学的情報記録のためのon(明)とoff(暗)の2種類の情報ビットが2次元的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット(n は4以上の所定の整数)を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット(m は所定の整数)の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中のonビット数 s が $n \leq s \leq n \times n / 4$ なる整数であるパターンの全数から前記単位符号ブロック中の所定の1列または1行にonビットが並ぶパターンの数を差し引いたパターン数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択する2次元符号化方法である。

【0024】これらにより、ビットパターンを暗くすることができ、そのパターンを記録するために必要な、ホログラムの回折効率が減少するため、媒体飽和がより起こりにくくなる。その結果、ホログラムの多重度の増加に対する、ホログラム再生像の劣化が緩和されるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保った状態で、より多くのホログラムが多重可能となり、装置の記録密度と記憶容量が増加する。

【0025】さらに、前記の2次元変調符号において、ビットパターン上での明ビットの集中を避けることで、ビットパターンが持つ低周波成分を抑圧して、フーリエ変換ホログラフィ光学系における、記録位置での光強度分布となる、フーリエ変換面上とその近傍での、光量の集中を緩和できるので、媒体飽和による再生像品質の劣化が抑えられるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保ったまま、多くのホログラムが多重記録できるようになり、装置の記録密度と記憶容量が増加する。

【0026】また、さらに、前記の2次元変調符号において、1:2差分符号の符号化効率を下回らないような

条件の下で、明ビットの数とパターンを最適化することで、符号化効率を低下させずに、ビットパターンの強度を抑え、さらに、ビットパターンのフーリエ変換像の光量の集中を緩和することができるので、ホログラム1ページあたりのデータ量を低下させずに、多くのホログラムを多重記録できるようになる。その結果、装置の記録密度と記憶容量が増加し、さらに、装置のデータ転送レートも向上する。

【0027】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態（実施例）を図面を参照して詳細に説明する。

【0028】図1は、本発明の一実施形態にかかる光を用いた情報記憶のための2次元符号化方法を実現するデジタルホログラフィックメモリの構成を説明するための図である。

【0029】本実施形態のデジタルホログラフィックメモリは、図1に示すように、レーザ1と、ビームスプリッタ3と、ビームエキスパンダ6と、ビットパターン8を有する空間光変調器7と、回転台14に載せられた記録媒体9と、フーリエ変換レンズ11、12と、CCDカメラ10とから構成される。

【0030】本実施形態のデジタルホログラフィックメモリのホログラムの記録時において、光源となるレーザ1から得られたレーザビーム2は、ビームスプリッタ3により、物体光（信号光）4と参照光5の、2つの光路に分けられる。そのうち、物体光4は、ビームエキスパンダ6により拡大された後、空間光変調器7に表示されたビットパターン8により変調される。ここで、空間光変調器7、記録媒体9、CCDカメラ10の受光面は、2つのフーリエ変換レンズ11、12の前側と後側の焦点位置に配置され、これらは、4F光学系を形成する。参照光5は、ミラー13により記録媒体9に向けられ、記録媒体9の位置で物体光4と交差して、干渉縞を形成する。この時発生する干渉縞の強弱のパターンが、ホログラムとして記録媒体9に記録される。

【0031】ホログラムの再生時は、ホログラムの記録された記録媒体9に、参照光5のみが照射される。このとき、記録媒体9に記録されたホログラムと、参照光5との相互作用により発生した回折光は、フーリエ変換レンズ12により、CCDカメラ10の受光面上に結像され、これがホログラム再生像となる。

【0032】ここで、記録媒体9に厚みを持たせると、記録されるホログラムは体積ホログラムとなり、ブラッグ選択性を持つようになる。この装置では、記録媒体9を回転台14の上に載せ、図1の紙面に垂直な回転軸まわりに回転させることで、角度多重による多重記録を行う。

【0033】次に、2次元符号化方法に対応するビットパターン8による物体光の変調を2通り（実施例1、実施例2）として以下に説明する。

【0034】（実施例1）ビットパターン8を生成する変調符号として、図2に示す3×3ビットの符号ブロックを構成する9ビットの符号ビットの中の2ビットが明ビットである2次元変調符号を考える。図2において、on（明）ビットは白、off（暗）ビットは黒で示してある。

【0035】ここで、符号ブロックの明るさを、符号ブロックに含まれる全符号ビットに対する明ビットの割合と定義すると、この変調符号の明るさは、 $2/9$ となる。これに対して、バランス符号と1:2差分符号の明るさは、図3に示すように、 $1/2$ であり、2:4差分符号の明るさは、図4に示すように、 $1/4$ であるので、この変調符号は、バランス符号、1:2差分符号や2:4差分符号よりも暗い符号となる。そのため、この変調符号を用いて、ビットパターンを生成することで、ビットパターン8の明るさが抑えられる。

【0036】また、この変調符号では、符号ブロック中の明ビットの数（2ビット）が、符号ブロックの1辺の長さ（3ビット）よりも少ないことから、どのような符号パターンを選んだ場合であっても、2つの符号ブロックを超えて明ビットが連続することは無い。そのため、ビットパターンの低周波成分が抑圧されて、フーリエ変換ホログラフィ光学系の記録位置における、光強度の集中が避けられる。さらに、この変調符号のパターンの組み合わせは、 ${}_3C_2=36$ 通りである。

【0037】ここで、5ビットは（ $2^5=32$ 通り）、6ビットは（ $2^6=64$ 通り）であるので、この変調符号のパターンの ${}_3C_2=36$ 通りでは、5ビット（ $2^5=32$ 通り）の情報に対応させることができる。つまり、一つの符号ブロックで5ビットの情報を表現することができる。

【0038】このとき、この符号は5ビットの情報を9ビットの符号ビットで表現する変調符号となり、ここでは、これを5:9変調符号と呼ぶ。5:9変調符号の符号化効率は、1ビットの情報を2ビットの符号ビットで表現する1:2差分符号、または、1:2バランス符号や2ビットの情報を4ビットの符号ビットで表現する2:4差分符号と比較して、より高効率となる。

【0039】このように、この5:9変調符号を用いることで、ビットパターンの明るさが抑えられ、フーリエ変換像の強度集中も緩和されることから、図1に示されるような、デジタルホログラフィックメモリにおいて、ホログラムの多重度を制限する要因となっている、媒体蝕和を緩和することができる。

【0040】さらに、符号化効率が上がることから、1つのホログラムに記録されるデータ量が増加する。その結果、装置の記録密度と、記憶容量が増加して、データ転送速度も向上する。

【0041】なお、実施例1では、3×3ビット（9ビット）を単位符号ブロックとし、記録する際に、2の乗

数の値が、前記単位符号ブロック中の on ビット数が2であるパターンの全数を超えない最大値をとるように選択した場合について説明してきたが、本発明はこれに限定されるものではなく、他のビット数でも同様に考えることができる。

【0042】例えば、 $n \times n$ ビット (n は4以上の所定の整数) を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット (m は所定の整数) の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中の on ビット数が $n-1$ (一行、また一列全部に明ビットが連続しないように1ビット引いてある) であるパターン10の全数を超えない最大値をとるように前記 m を選択するようにする。

【0043】したがって、5:9変調符号の持つ特長は、 4×4 ビットの符号ブロック中の3ビットを明ビットとする9:16変調符号、 5×5 ビットの符号ブロック中の4ビットを明ビットとする13:25変調符号であっても、同様に得られる。これらの3つの変調符号において、符号ブロックが大きくなるほど、符号ブロック中の全符号ビットに対する明ビットの割合が、減少して行くことから、ビットパターンは暗くなり、媒体蝕和は、より発生しにくくなる。

【0044】(実施例2) 前記実施例1の規則に従って変調符号を生成する場合、符号ブロックが大きくなるのに従って、符号ブロックを構成する全符号ビットに占める明ビットの割合が小さくなることから、ビットパターンは暗くなり、その結果、媒体蝕和が緩和される。この場合、符号パターンの組み合わせの数が減少することから、符号化効率は低下する。

【0045】これは、より多くの明ビットを用いることで、符号パターンの組み合わせの数を、増やすことができる。しかし、符号ブロック中の明ビットの数が、符号ブロックの1辺よりも多くなると、2つの符号ブロックを超えて、明ビットの連続が発生する可能性が生まれる。

【0046】ここで、この変調符号の符号化規則では、データと符号パターンとの対応付けを行い易くするために、1つの符号ブロックで表現するデータ数を2の累乗としている。そのことから、実際に得られる、符号パターンの組み合わせ数との差分だけ符号パターンの選択に余裕がある。

【0047】そこで、この組み合わせの余裕を利用して、明ビットの連続が2つの符号ブロックにわたってしまうようなパターンを避けて、ビットパターンの連続を抑えることで、フーリエ変換パターンの強度集中を避けることができる。

【0048】例えば、符号ブロックの大きさが、 6×6 ビットの場合、符号ブロックを構成する36ビットの中の、5ビットを明ビットとすると、得られる符号パターンの数は、 ${}_{36}C_5 = 376,992$ 通りとなる。これらの

符号パターンで表現することのできる情報量は、全パターン数 ${}_{36}C_6 = 376,992$ 通りを超えない値では、18ビット($=2^{18} = 262,144$ 通り)が最大値をとることから、この符号は、18ビットのデータを、36ビットの符号ビットを用いて表現する、18:36変調符号となる。このとき、18:36変調符号の符号化効率は、1:2、2:4差分符号と等しい。

【0049】一方、36ビットの符号ビットのうち、6ビットの符号ビットを明ビットとすると、 ${}_{36}C_6 = 1,947,792$ 通りの符号パターンが得られることから、20ビット($=2^{20} = 1,048,576$ 通り)の情報を表現できるようになる。

【0050】ここで、図5に示すように、6ビットの明ビットが1列、または、1行に並ぶ、12通りのパターンを避けることで、2つの符号ブロックを超える明ビットの連続が避けられる。このとき、符号パターンの余裕は、 ${}_{36}C_6 - 2^{20} = 899,216$ 通りとなり、前記の12の通りのパターンを避けた場合であっても、十分に20ビットの情報に対応させることが可能である。

【0051】このとき、この符号は、図6に示すように、20ビットのデータを36ビットの符号ビットを用いて表現する20:36変調符号となり、実施例1の5:9変調符号等の場合と同様に、パターン強度が暗く、フーリエ変換像の強度集中が抑えられた符号化効率の高い2次元変調符号となる。

【0052】ここで、明ビットの数を前記の6ビットから、さらに、7または、8ビットと増やした場合でも、全符号ブロックに占める明ビットの割合は、 $7/36$ 、または、 $2/9$ と、2:4差分符号を用いた場合の、 $1/4$ と比較して小さくなる。

【0053】それらに対して、得られるパターンの組み合わせは、それぞれ、8,347,680、30,260、340通りとなり、これらは、22ビット、24ビットのデータに対応させることが可能な、組み合わせの数である。

【0054】このとき、パターン数の余裕は、それぞれ、4,153,376、13,483,124通りとなる。一方、明ビットの連続が、1行、または、1列に現れる組み合わせは、それぞれ、360、5220通りであることから、前記の6ビットの場合と同様に、これらのパターンを用いなくとも、十分にそれぞれの情報に対応させることが可能である。その結果、さらに高効率な、22:36変調符号、24:36変調符号が得られる。

【0055】符号ブロックがさらに大きくなった場合であっても、これらと同様の手法で、ビットパターンの強度と、ビットパターン上の明ビットの連続を抑えた、高効率の変調符号が得られる。

【0056】その一方で、符号ブロックの大きさが 4×4 ビットの場合、明ビットの数を4とすると、その明る

さは 2 : 4 差分符号と等しい 1 / 4 となる。このとき、符号は 10 : 16 変調符号となり、その符号化効率、1 : 2、または、2 : 4 差分符号を上回る。

【0057】またさらに、符号ブロックの大きさが 5 × 5 ビットの場合についても、明ビットの数を 5、または、6 ビットとした場合であっても、符号ブロックに占める明ビットの割合が、2 : 4 差分符号での 1 / 4 未満で、2つの符号ブロックを超える明ビットの連続を避けた符号パターンが得られる。これらはそれぞれ、15 : 25 変調符号、17 : 25 変調符号となり、それらの符号化効率は、それぞれ、前記の 13 : 25 変調符号を上回る。

【0058】これまで説明した一連の変調符号の中で、最も簡単な 5 : 9 変調符号を用いた場合について、実際に得られるホログラム再生像の SN 比を代表的な差分符号である 1 : 2 差分符号と、その改良型である 2 : 4 差分符号を用いた場合に得られる SN 比と比較したものを図 7 に示す。なお、ここで、SN 比 (SNR) は、明、暗両ビットの光強度の平均値を、 μ_1 、 μ_0 、その分散を、 σ_1^2 、 σ_0^2 として、数 1 の式

【0059】

【数 1】

$$\text{数 1} \quad SNR = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_0^2)}}$$

【0060】と、定義する。

【0061】このことは、文献；F. H. Mok, G. W. Burr, and D. Psaltis, "Systemmetric forholographic memory systems," Opt. Lett. 21, pp. 896-898 (1996) に開示されている。

【0062】図 7 は、図 1 に示したデジタルホログラフィックメモリを用いて、50 多重記録したホログラムの各再生像について、ホログラムページ毎に SN 比を求めたグラフである。

【0063】実施例 1 の 5 : 9 変調符号を用いることで、1 : 2 差分符号、または、1 : 2 バランス符号を用いた場合と比較して、優れた SN 比が得られている。ここで、1 : 2 差分符号とバランス符号は、同一の符号である。さらに、2 : 4 差分符号を用いた場合と比較しても、ほとんどのページで、より良い SN 比が得られている。これらのことから、符号ブロック中の明ビットの割合を少なくすることで、ホログラム再生像の SN 比が改善されることが示される。

【0064】したがって、説明してきたように、デジタルホログラフィックメモリで、ホログラムとして記録、再生されるビットパターンを生成する符号法において、符号化の単位となる符号ブロックに占める、明ビットの割合を少なくすることで、ビットパターンの明るさを抑えることができるので、そのパターンを記録するホログラムの回折効率が減少するため、媒体蝕和がより起

こりにくくなる。

【0065】その結果、多重度の増加に対する、ホログラム再生像の劣化が緩和されるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保った状態でより多くのホログラムを多重することが可能となり、装置の記録密度と記憶容量が増加する。

【0066】さらに、ビットパターン上で、明ビットが連続することを避けることにより、ビットパターンの低周波成分が抑圧され、フーリエ変換ホログラフィ光学系における、ホログラム記録位置となるフーリエ変換面近傍での光量の集中が緩和されるので、媒体蝕和による再生像品質の劣化が抑えられるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保ったまま、多くのホログラムが多重記録できるようになり、装置の記録密度と記憶容量が増加する。

【0067】また、符号ブロックにおける、明ブロックの数と、符号パターンを最適化することにより、符号化効率を低下させずに、ビットパターンの強度を下げ、さらに、フーリエ変換像の強度集中を緩和することで、ホログラム 1 ページあたりのデータ量を低下させずに、多くのホログラムを多重記録できるようになる。その結果、装置の記録密度と記憶容量が増加し、さらに、装置のデータ転送レートが向上する。

【0068】なお、本実施形態、実施例では、2 次元符号化方法で生成したビットパターンを、ホログラム記録のための図 1 に示した空間光変調器 7 に表示させるビットパターンとして説明してきたが、本発明の 2 次元符号化方法で生成したビットパターンを、直接光記録媒体に記録して用いても同様の効果が得られる。

【0069】以上、本発明者によってなされた発明を、前記実施形態（実施例）に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは勿論である。

【0070】

【発明の効果】本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

【0071】符号ブロックの on ビットを表す明ビットの数を、符号ブロックの on ビットを表す明ビットの数を、少なくすることで、ビットパターンを暗くすることができ、そのパターンを記録するために必要な、ホログラムの回折効率が減少するため、媒体蝕和がより起こりにくくなる。その結果、ホログラムの多重度の増加に対する、ホログラム再生像の劣化が緩和されるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保った状態で、より多くのホログラムが多重可能となり、装置の記録密度と記憶容量が増加する。

【0072】さらに、前記の 2 次元変調符号において、ビットパターン上での明ビットの集中を避けることで、

ビットパターンが持つ低周波成分を抑圧して、フーリエ変換ホログラフィ光学系における、記録位置での光強度分布となる、フーリエ変換面上とその近傍での、光量の集中を緩和できるので、媒体飽和による再生像品質の劣化が抑えられるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保ったまま、多くのホログラムが多重記録できるようになり、装置の記録密度と記憶容量が増加する。

【0073】また、さらに、前記の2次元変調符号において、1:2差分符号の符号化効率を下回らないような条件の下で、明ビットの数とパターンを最適化することで、符号化効率を低下させずに、ビットパターンの強度を抑え、さらに、ビットパターンのフーリエ変換像の光量の集中を緩和することができるので、ホログラム1ページあたりのデータ量を低下させずに、多くのホログラムを多重記録できるようになる。その結果、装置の記録密度と記憶容量が増加し、さらに、装置のデータ転送レートも向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態にかかる光を用いた情報記

憶のための2次元符号化方法を実現するデジタルホログラフィックメモリの構成を説明するための図である。

【図2】5:9変調符号のパターン例を示した図である。

【図3】1:2差分符号のパターン例を示した図である。

【図4】2:4差分符号のパターン例を示した図である。

【図5】20:36変調符号において避けるパターン例を示した図である。

【図6】20:36変調符号のパターン例を示した図である。

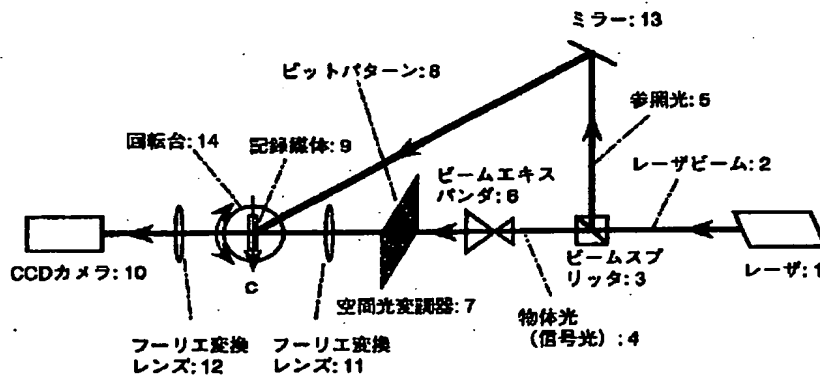
【図7】50多重記録したホログラムの再生像のSN比を示したグラフである。

【符号の説明】

1…レーザ、2…レーザビーム、3…ビームスプリッタ、4…物体光(信号光)、5…参照光、6…ビームエキスパンダ、7…空間光変調器、8…ビットパターン、9…記録媒体、10…CCDカメラ、11、12…フーリエ変換レンズ、13…ミラー、14…回転台。

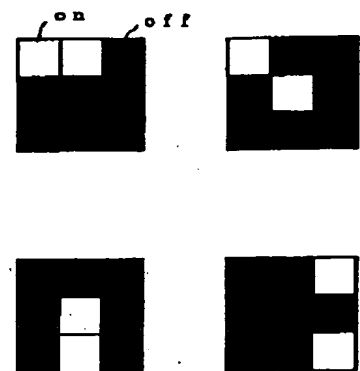
【図1】

図1



【図2】

図2



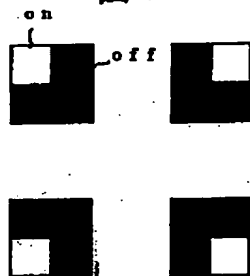
【図3】

図3



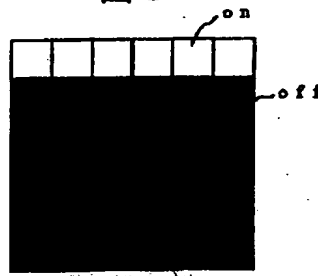
【図4】

図4



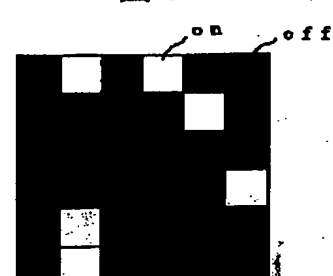
【図5】

図5



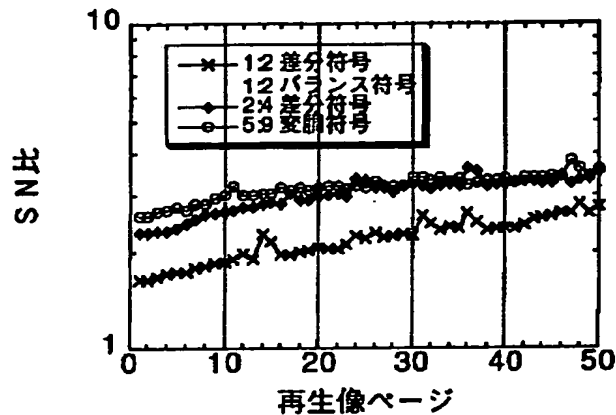
【図6】

図6



【図7】

図7



【手続補正書】

【提出日】平成11年10月6日（1999. 10. 6）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】 光学的情報記録のための on（明）と off（暗）の2種類の情報ビットが2次的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット（ n は3以上の所定の整数）を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット（ m は所定の整数）の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中の on ビット数が $n-1$ なる整数であるパターンの全数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択することを特徴とする2次元符号化方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】（1）光学的情報記録のための on（明）と off（暗）の2種類の情報ビットが2次的に配置されたビットパターンを生成する2次元符号化方法において、 $n \times n$ ビット（ n は3以上の所定の整数）を単位符号ブロックとし、該単位符号ブロックに m ビット（ m は所定の整数）の2値情報を記録する際に、2の m 乗の値が、前記単位符号ブロック中の on ビット数が $n-1$

なる整数であるパターンの全数を超えない最大値をとるように、前記 m を選択する2次元符号化方法である。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正内容】

【0063】実施例1の5:9変調符号を用いることで、1:2差分符号、または、1:2バランス符号を用いた場合と比較して、優れたSN比が得られている。ここで、1:2差分符号と1:2バランス符号は、同一の符号である。さらに、2:4差分符号を用いた場合と比較しても、ほとんどのページで、より良いSN比が得られている。これらのことから、符号ブロック中の明ビットの割合を少なくすることで、ホログラム再生像のSN比が改善されることが示される。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正内容】

【0066】さらに、ビットパターン上で、明ビットが連続することを避けることにより、ビットパターンの低周波成分が抑圧され、フーリエ変換ホログラフィ光学系における、ホログラム記録位置となるフーリエ変換面近傍での光量の集中が緩和されるので、媒体蝕和による再生像品質の劣化が抑えられるため、記憶装置として用いることのできる再生像品質を保ったまま、多くのホログラムが多重記録できるようになり、装置の記録密度と記

憶容量が増加する。